

计算机辅助设计和计算机辅助制造预成个性化同种异体骨块在种植骨增量手术中的应用进展

钟雨欣 于海洋

口腔疾病防治全国重点实验室 国家口腔医学中心 国家口腔疾病临床医学研究中心
四川大学华西口腔医院修复科 成都 610041

[摘要] 计算机辅助设计和计算机辅助制造 (CAD/CAM) 成形技术可以预成与受区更匹配的目标骨块, 目前常应用于复杂的牙槽嵴增量术, 通过数字化设计生产个性化的同种异体骨块, 避免了传统椅旁骨块成形的步骤, 大大增加了临床操作效率, 提高了移植适应的精度, 利于移植物的血管化和骨整合, 在未来骨增量的临床应用中前景可期。因此, 本文就 CAD/CAM 预成个性化同种异体骨块 (CABB) 在当前种植骨增量手术的应用现状进行综述, 并进一步探讨其存在的问题和挑战。

[关键词] 计算机辅助设计和计算机辅助制造; 牙槽嵴增量术; 同种异体骨块

[中图分类号] R782.13 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2024050



开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)

Computer aided design and computer aided manufacturing of prefabricated personalized allografts in bone augmentation surgery

Zhong Yuxin, Yu Haiyang

State Key Laboratory of Oral Diseases & National Center for Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Dept. of Prosthodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Supported by: Sichuan Province Science and Technology Plan Project (2020YFS0040)

Correspondence: Yu Haiyang, Email: yhyang6812@qq.com

[Abstract] Computer aided design and computer aided manufacturing and molding technology can preform the target bone block, which is suitable for the recipient area. It is often used in complex alveolar ridge augmentation surgery. The digital design and production of personalized allogeneic bone block can prevent the traditional step of chair-side bone block forming, increase the efficiency of clinical operation, improve the precision of graft adaptation, and facilitate the vascularization and osseointegration of the graft. This technology shows clinical application potential in bone augmentation. Therefore, this article reviews the current application status of customized allogeneous bone blocks in implant bone augmentation surgery and further discusses its existing problems and challenges.

[Key words] computer aided design and computer aided manufacturing; alveolar ridge augmentation; allogeneic bone block

口腔种植治疗的长期成功和美学效果很大程度上依赖于在足量的健康骨上形成良好的骨整合^[1], 因此只有合理恢复和重建丧失的骨组织, 才

能在最有利于修复的理想位置植入种植体。一般情况下, 牙齿脱落后骨吸收是渐进和不可逆的^[2], 由于机械负荷的丧失以及创伤、牙周病、龋齿或感染等因素, 在拔牙后6个月内牙槽骨会出现平均1.24 mm (11%~22%) 的垂直吸收和3.79 mm (29%~63%) 的水平吸收^[3]; Carlsson等^[4]观察到拔牙后的前6个月有23%的牙槽嵴体积损失, 随后的5年内又有11%的牙槽嵴体积损失。

[收稿日期] 2023-08-25; **[修回日期]** 2024-01-16

[基金项目] 四川省科技计划项目 (2020YFS0040)

[作者简介] 钟雨欣, 硕士, Email: 1024477290@qq.com

[通信作者] 于海洋, 教授, 博士, Email: yhyang6812@qq.com

现有的牙槽骨骨增量技术包括引导骨再生(guided bone regeneration, GBR)技术、牙槽骨劈开术、外置法骨移植技术等。根据国际口腔种植学会(International Team for Implantology, ITI)种植临床指南^[5], GBR技术对于1/4型的牙槽骨缺损可以获得与非骨缺损位点相同的种植效果,但是在骨缺损量较大、无法形成生物力学稳定的中心骨支架的情况下,屏障膜和骨粉由于机械性能较差,易发生塌陷,难以维持成骨空间的稳定性,无法形成血管化良好的肉芽组织^[6]。牙槽骨劈开主要用于水平向萎缩的牙槽嵴骨增量,利用牙槽骨的弹性及血液灌注可以有效地扩增牙槽嵴,但其组织学方面的要求严格,且技术敏感性高。对于较大范围的骨缺损,如当下颌后牙区所需的骨增量在宽度或高度超过3 mm时,骨块移植优于骨劈开技术,且技术敏感性较低,其颊侧皮质骨板的吸收可预期^[5],所以建议联合应用带屏障膜的骨块移植完成分阶段的骨增量方案^[7]。然而,现有的预成骨块通常为不同尺寸的立方体,在手术过程中需要通过椅旁修形获得与牙槽骨缺损部位相近的大小和形态,易发生破裂^[8]和感染^[9-10],且椅旁成形阶段越长,移植物感染的可能性越大^[8];另外,移植骨块与缺损区间形态不匹配造成的间隙会影响移植物的整合和血管化^[11]。通过数字化设计生产的个性化骨块可以对应不同缺损区的形态和大小,从而最大程度地提高手术效率、降低感染风险,获得更好的骨增量效果。

在牙槽骨缺损时一般采用如牙槽嵴劈开术、牵张成骨术、外置法植骨术等手术配合植骨材料进行骨增量,骨移植材料应具备良好的骨传导性、骨诱导性和骨再生性,抗感染性能好,无体内排异反应,体积维持能力好,手术便利性好,价格合理。目前,骨增量手术中常用的骨块移植材料包括自体骨块、同种异体骨块以及异种骨块移植材料^[12]。自体骨块因具备与人体相同的组织结构、机械性能和生物学特点,保留参与新骨形成的成骨细胞,具有良好的成骨性、骨传导性和骨诱导性;组织相容性好、无抗原排斥反应的风险;并且疾病传播风险较低^[13-14],被广泛认为是骨移植材料的金标准^[15-17],是经过文献^[18]充分证明具有骨诱导潜能的移植材料。然而,关于自体骨块移植的远期疗效仍存在争议,有研究^[19-20]显示其可能会发生20%~100%的移植物吸收;可供采集的供区骨量有限;供区部位存在血管或神经损伤的风险(发

生率达25%)^[21-22];供区手术增加了并发症(包括感染和疼痛)发病率、手术时间和费用^[14,23]。目前,临床上应用的异种骨移植材料主要为脱蛋白牛骨颗粒(deproteinized bovine bone mineral, DBBM),其骨量不受限制;利于氧气和营养物质的运输;力学性能与同种骨接近;但不具备良好的细胞界面,不利于细胞的黏附和迁移;Lima等^[24]的研究结果表明异种骨块的骨吸收率和种植体植入扭矩均高于自体骨块;此外,当前异种骨块的研究主要为动物实验^[25],对于严重牙槽嵴骨缺损的异种骨块移植仍需要更多的临床研究。因此,近年来同种异体骨块越来越受到关注,有研究^[26]显示,同种异体骨块与自体骨的骨吸收量间没有显著差异,并且可以避免开辟第二术区、降低了手术成本及患者的不适感^[14],提高了手术安全性。一项关于新鲜冷冻同种异体骨移植物30年的随访研究^[27]中,没有观察到明显的变态反应和排斥反应;此外,组织学和免疫反应评价^[28]显示,使用新鲜冷冻异体移植物治疗严重骨缺损无明显抗原排斥反应。

近年来,通过计算机辅助设计和计算机辅助制造(computer aided design and computer aided manufacturing, CAD/CAM)系统,计算机层析成像(computed tomography, CT)扫描数据可用于同种异体骨块的精确成型和个性化生产。通过这种方式生产的CAD/CAM预成个性化同种异体骨块(customized allogeneous bone blocks, CABB)不需要椅旁修形,可以直接从无菌包装转移到接受部位,从而降低感染风险,确保了术区的良好愈合;并且避免开辟第二术区,缩短了手术时间,减轻了患者的痛苦^[7]。大量病例报告^[29-34]证明了CAD/CAM制作的个性化预成骨块的准确性和精密度。因此,本文就CAD/CAM预成个性化同种异体骨块在种植骨增量手术的应用现状进行探讨,并进一步展望其未来在种植骨增量手术的应用前景。

1 工作流程

1.1 个性化骨块设计

首先通过锥形束计算机断层扫描(cone beam computed tomography, CBCT)和3D规划软件确认种植位点并评估相应牙槽嵴结构,在牙槽嵴缺损区域的三维重建中,建立虚拟骨块,使之与缺损区轮廓匹配。当虚拟骨块的定位正确时,去除

多余部分,形成与缺损区形态高度适应的理想骨块,从而确定理想骨块的形态和体积,保证预成骨块轮廓与目标增量区轮廓的匹配。将相关信息以立体光刻(stereolithography, STL)格式储存并发送至加工厂,经计算机数控铣床生产。

1.2 骨块处理

目前,文献^[33,35]报道中使用的Botiss骨块是一种来自股骨头松质骨的无菌、高安全性同种异体骨移植产品,其按照冷冻干燥等程序及伽马射线辐射灭菌,经超声波、化学和氧化处理,去除所有抗原成分、有效灭活病毒和细菌;也有文献^[31,36]报道使用基于多步骤Tutoplast[®]组织灭菌工艺制备的Puros[®]同种异体骨块(allograft customized bone blocks, ACBB)进行预成个性化同种异体骨块移植,有研究^[37-38]将Tutoplast[®]处理的同种异体骨与其他冻干同种异体骨进行比较后发现:Tutoplast[®]处理的同种异体骨的成骨率更高,残留的同种异体骨颗粒更少,通过溶剂脱水和 γ 射线照射,可以在杀菌的同时保留骨块的矿化结构和有机基质,从而实现可预测的骨组织和牙周组织再生。

1.3 外科手术

为了促进移植物的骨整合,应彻底清除受区骨密质上的软组织以及少量骨密质,使骨松质内血液渗出,以促进血管原、骨原细胞及细胞因子进入移植骨块,加速新生血管的长入和再血管化进程。按制造商说明,术中需将预制骨块在0.9%氯化钠溶液中进行再水化,以提高其延展性,降低骨折风险;将骨块与氯化钠溶液一起转移到无菌注射器中以实现液体的均匀渗透,移植前需去除骨块上的气泡。一般情况下,骨块可以完全适合缺损区形态,不需要进行椅旁修形。移植骨块的坚固固定是骨结合的关键因素。可选用长钛钉或可吸收螺钉固定移植骨块,覆盖不可吸收屏障膜及钛网,无张力缝合软组织。由于供骨块具有一定的体积,在骨块固定后关闭创口时常存在软组织不足等问题。应采取松弛切口,软组织移植或利用异体组织补片等方法避免软组织张力过大无法严密关闭创口。

1.4 术后检查及种植体植入

骨增量术后进行第二次CBCT扫描,以再次确认移植骨块处于术前规划的理想位置,保证术区骨面与移植骨块保持最大接触。骨增量术后6个月,进行第三次CBCT扫描,评估手术部位可用骨量,然后植入种植体。较多的临床研究建议在使

用个性化异体骨块进行骨增量手术时,至少需要愈合6个月再进行种植体植入,植入术后建议增加额外3个月的愈合时间^[34,39-40]。

2 临床效果

现有的文献表明,个性化同种异体移植骨块的临床效果可以满足种植手术的增量需求,存活率和成功率可接受。Motamedian等^[11]2016年的系统评价显示,通过自体骨块移植和同种异体移植骨块移植完成骨增量手术的种植体存活率和成功率相当,分别为73.8%~100%、72.8%~100%和95.3%~100%、93.7%~100%。Jacotti等^[15]的系列病例报告报道了个性化同种异体骨块骨增量术后8个月可观察到新生的板层骨区散在高成骨活性的新生骨,提示了植骨块的重建,表明预成个性化同种异体骨块可成功应用于严重萎缩的牙槽骨骨增量。该团队2014年的一项病例报告^[7]报道了1例采用CAD/CAM系统成形的个性化预成骨块Botiss(Berlin公司,德国)用于右下颌后牙区水平性骨缺损区骨增量的病例,骨增量7个月后其总水平骨增量为6.09、7.36和8.08 mm(平均7.18 mm)。

据报道,个性化同种异体移植骨块可应用于极具挑战性的大范围萎缩的牙槽嵴骨增量手术。Pffaffeneder-Mantai等^[29]报道了1例CAD/CAM设计制造的同种异体骨块在高度萎缩的上颌骨重建全牙弓的成功应用。该病例在预成骨块植入愈合后7个月,按照“all-on-6”理念,使用螺钉固定的修复体和带有丙烯酸贴面的磨铽钛框架加载种植体,表面精确设计制造的CAD/CAM个性化同种异体骨块对治疗高度萎缩的上颌骨具有重要意义,可以成功实现全牙弓重建和成功的“all-on-6”植入。Blume等^[32]报告了1例使用2个CAD/CAM制造的异体骨块成功完成的先天缺牙患者上颌骨大范围缺损萎缩的骨增量手术,与使用自体移植进行的GBR手术相比,该手术的损伤性较小,并且术后10个月影像学检查显示松质骨块移植后有皮质骨层的新形成。

在美学区的骨增量手术中,同种异体移植骨块移植的临床效果也较为稳定。Schlee等^[41]的研究评价了自体 and 同种异体骨块移植治疗后的美学效果,结果显示两组之间的粉色美学评分(pink esthetic score, PES)无显著差异。此外,患者认为由于不需要开辟第二术区获取骨块,同种异体移

植手术的疼痛较轻,更能接受。

3 应用优势

3.1 感染率低

有研究^[10-11,15]显示与自体骨块移植相比,异体骨块移植对技术更敏感、更容易感染,高感染率为同种异体骨移植物的主要并发症。感染主要与骨块椅旁成形的时间和适应受体部位的过程有关。在术中对预成骨块进行修形时,需要将骨块在缺损处放置数次以检查形态大小是否合适,再多次取出进行修整,由于长时间接触外科医生的手套、患者的口腔液体等,骨块易受到环境中多种污染源的影响。通过CAD/CAM技术生成的与骨缺损区域的几何形状完全匹配的个性化预制同种异体骨块,可以不需塑形、直接转移到种植区骨缺损部位,避免了环境污染。多项研究^[15,30-31]表明其提高了移植物适应的精度,减少了手术时间,降低了并发症的发生风险。

3.2 骨吸收率小

多项研究显示CAD/CAM预成个性化同种异体骨块完成的骨增量手术骨吸收量小。Pfaffeneder-Mantai等^[29]的病例报告显示了同种异体骨块移植有较低的移植物和种植体之间的吸收率。Kloss等^[42]的研究发现:冻干同种异体松质骨块在治疗ITI指南II~IV类局限性骨缺损时,与自体骨块吸收率相当(12.5%、14.4%)。Kim等^[43]的研究显示异体骨块移植后表现出最小的吸收和骨存量稳定性(94.30%±5.45%)。在Boogaard Maarten等^[20]的病例报告中,骨移植后5个月,预成的同种异体骨块的体积基本没有减少,术后6个月的组织学检查显示46.61%的骨矿化。Schlee等^[30]的病例报告中,对3例使用CABB的骨增量手术进行了评估,在种植体植入后6、12个月观察到的平均骨吸收为1.69、1.64 mm,组织学评估显示有新骨形成,患者满意度和长期稳定性等参数表明其临床效果良好。

3.3 骨增量水平高

CAD/CAM预成个性化同种异体骨块移植获得的骨增量水平能够满足临床需求。Troeltzsch等^[44]报告了同种异体骨块的水平骨增量加权平均值为(4.6±1.4) mm,较颗粒型骨移植材料更高。Laino等^[45]使用Tutoplast®处理的同种异体骨块进行后牙区垂直骨缺损的骨增量手术,与自体骨块移植相比有相似的骨形成。Ambrosio等^[36]报道的2例病例

表明使用个性化预成同种异体骨块移植来完成水平和垂直骨增量的临床效果确切,其骨增量术后6个月的CBCT评估显示了牙槽嵴体积的增加(宽13.64 mm、长16.02 mm)和移植骨块的骨重建。

3.4 安全性好

当前对同种异体骨块的主要争议在于异体物质的安全性,即发生交叉感染、免疫反应和抗原性等风险。然而现有的研究表明,尽管可以从同种异体骨移植中检测到一些有机细胞残留物,但并未在移植物周检测到炎性细胞,血液中红、白细胞的平衡也未见损害。同种异体移植物有多种加工方式,包括新鲜冷冻骨(fresh frozen bone, FFB)、同种异体冻干骨(freeze-dried bone allograft, FDBA)或同种异体脱矿冻干骨(demineralized freeze-freeze-dried bone allograft, DFDBA)。并经灭菌和γ射线辐照等处理,以最大限度地降低抗原性和疾病传播的风险,世界卫生组织(World Health Organization, WHO)进行的一项研究未发现与FDBA相关的任何类型感染性疾病的传播;并且有研究显示其人类免疫缺陷病毒(human immunodeficiency virus, HIV)传播的风险较低,约为1/160万。

3.5 存活率高

移植物与缺损区形态的贴合程度和骨移植术区的预备情况会影响移植物的整合和血管化。个性化预成骨块的形状与缺损区精确对应,与颗粒状骨替代材料和自体骨块移植技术相比,接触面积更大,可以实现最佳的营养支持,有利于血管生长和血运重建,允许更快的骨整合^[11]。一篇关于CAD/CAM预成个性化同种异体骨块移植的5年随访研究^[33]通过组织学检查显示移植骨块完全重建,其板层骨血管化良好并与脂肪合并,骨细胞、内衬细胞、巨噬细胞和血管等存在表明组织健康,形成的新骨与健康的自体骨组织基本没有区别。Blume等^[31]报道:使用个性化预成异体骨块引导骨再生治疗双侧下颌牙槽嵴严重吸收,骨增量术后22个月和种植体植入后17个月的曲面体层片显示了移植骨块完成了良好的骨重建,所有种植体均达到了稳定的骨整合效果。

4 同种异体移植骨块移植的问题与挑战

4.1 骨吸收量的预估与补偿

外置法植骨术(onlay bone grafting)后会发

生不可避免的骨吸收, 目前对于同种异体骨块移植的骨吸收率的报道仍存在较大差异。Blume等^[35]一项随访2年的研究中, 个性化同种异体骨块移植后的即刻体积为0.45 mL, 6个月后种植体植入前的骨块体积为0.34 mL, 骨块体积吸收率为24.4%。Kloss等^[42]的研究发现: 冻干同种异体松质骨块移植与自体骨块吸收率相当(12.5%、14.4%), 所以他们认为无需将骨块形态设计过大。因此, 对于个性化骨块形态设计是否考虑骨吸收率仍缺乏共识, 如何在考虑初期骨吸收、骨块形态体积损失后, 保证移植骨块的形态体积贴合骨缺损区轮廓是未来该领域的研究发展方向之一。

4.2 无张力缝合的设计与实施

尽管CAD/CAM预成个性化同种异体骨块的稳定性较好, 但在修复大面积缺损或萎缩的牙槽嵴时, 软组织管理仍然是一大挑战。由于个性化骨块形态大小设计基于理想的牙槽嵴形态, 存在一定的体积量, 关闭创口时易出现软组织不足、张力过大等问题, 导致愈合过程中创口裂开、骨块感染和坏死。除无张力皮瓣设计外, 必要时可采用软组织移植或利用异体组织补片等方法缓解软组织张力过大无法严密关闭的问题。

4.3 骨块体积的极限范围待定

大面积骨缺损增量术中若个性化骨块形态设计过大, 其血管化和骨重建的临床疗效尚不确切。1例随访15个月的病例报告^[20]显示: 若预成形的同种异体骨块的适合性无法达到最佳, 可能会影响其血运重建和骨整合。研究表明, 尽管使用同种异体骨块完成垂直牙槽嵴骨增量可以满足临床需求, 但是与自体骨块相比需要更长的愈合期来确保尺寸的稳定。在现有文献中, 只有一项研究^[33]有5年随访时间, 并进行了组织学检查; 仅有1篇6年随访的病例报告^[35]成功地进行了CAD/CAM预成个性化同种异体骨块在极度萎缩的上颌骨种植的骨增量手术, 证明了其稳定的长期临床效果。由于长期随访观察的病例研究有限, 同种异体移植骨块移植的长期临床效果依然不够确切, 仍需要更多的患者和长期随访数据的临床试验来验证这些结果, 并进一步探讨在临床疗效确切的前提下, CAD/CAM预成个性化同种异体骨块的体积设计极限。

5 结论

当前, CAD/CAM预成个性化同种异体骨块已

经逐步应用于复杂的牙槽嵴增量术, 通过数字化设计生产个性化的同种异体骨块, 提高了移植体适应的精度, 避免了传统椅旁骨块成形的步骤, 显著缩短手术时间, 利于血管生长和血运重建, 同时降低了术中感染的风险。在不同适应证和临床报道中, 临床效果稳定, 在骨增量的应用中有巨大前景。但是, 在骨块形态设计方面仍存在初期骨吸收的问题和保证无张力缝合方面的挑战, 由于当前相关的病例报道有限, 仍需要更大患者人群和长期随访数据的临床试验来进一步探讨其临床适应证和长期疗效。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

6 参考文献

- [1] Rocchietta I, Fontana F, Simion M. Clinical outcomes of vertical bone augmentation to enable dental implant placement: a systematic review[J]. *J Clin Periodontol*, 2008, 35(8 suppl): 203-215.
- [2] Barone A, Varanini P, Orlando B, et al. Deep-frozen allogeneic onlay bone grafts for reconstruction of atrophic maxillary alveolar ridges: a preliminary study[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2009, 67(6): 1300-1306.
- [3] Tan WL, Wong TL, Wong MC, et al. A systematic review of post-extraction alveolar hard and soft tissue dimensional changes in humans[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2012, 23(Suppl 5): 1-21.
- [4] Carlsson GE, Persson G. Morphologic changes of the mandible after extraction and wearing of dentures. A longitudinal, clinical, and X-ray cephalometric study covering 5 years[J]. *Odontol Revy*, 1967, 18(1): 27-54.
- [5] Cordaro L, Terheyden H. 口腔种植的牙槽嵴骨增量程序: 分阶段方案[M]. 7版. 宿玉成, 译. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2016.
Cordaro L, Terheyden H. Ridge augmentation procedures in implant patients: a staged approach[M]. 7th ed. Su YC, trans. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2016.
- [6] McAllister BS, Haghghat K. Bone augmentation techniques[J]. *J Periodontol*, 2007, 78(3): 377-396.
- [7] Jacotti M, Barausse C, Felice P. Posterior atrophic mandible rehabilitation with onlay allograft created

- with CAD-CAM procedure: a case report[J]. *Implant Dent*, 2014, 23(1): 22-28.
- [8] Jacotti M. Simplified onlay grafting with a 3-dimensional block technique: a technical note[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2006, 21(4): 635-639.
- [9] Felice P, Pistilli R, Lizio G, et al. Inlay versus onlay iliac bone grafting in atrophic posterior mandible: a prospective controlled clinical trial for the comparison of two techniques[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2009, 11(Suppl 1): e69-e82.
- [10] Chaushu G, Mardinger O, Peleg M, et al. Analysis of complications following augmentation with cancellous block allografts[J]. *J Periodontol*, 2010, 81(12): 1759-1764.
- [11] Motamedian SR, Khojaste M, Khojasteh A. Success rate of implants placed in autogenous bone blocks versus allogenic bone blocks: a systematic literature review[J]. *Ann Maxillofac Surg*, 2016, 6(1): 78-90.
- [12] Sheikh Z, Sima C, Glogauer M. Bone replacement materials and techniques used for achieving vertical alveolar bone augmentation[J]. *Materials (Basel)*, 2015, 8(6): 2953-2993.
- [13] Misch CM. Autogenous bone: is it still the gold standard[J]. *Implant Dent*, 2010, 19(5): 361.
- [14] Gazdag AR, Lane JM, Glaser D, et al. Alternatives to autogenous bone graft: efficacy and indications [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 1995, 3(1): 1-8.
- [15] Jacotti M, Wang HL, Fu JH, et al. Ridge augmentation with mineralized block allografts: clinical and histological evaluation of 8 cases treated with the 3-dimensional block technique[J]. *Implant Dent*, 2012, 21(6): 444-448.
- [16] Jensen SS, Terheyden H. Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2009, 24(Suppl): 218-236.
- [17] Misch CM. Maxillary autogenous bone grafting[J]. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2011, 23(2): 229-238.
- [18] Cricchio G, Lundgren S. Donor site morbidity in two different approaches to anterior iliac crest bone harvesting[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2003, 5(3): 161-169.
- [19] Sbordone C, Toti P, Guidetti F, et al. Volume changes of autogenous bone after sinus lifting and grafting procedures: a 6-year computerized tomographic follow-up[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2013, 41(3): 235-241.
- [20] Boogaard Maarten J, Romanos Georgios E. Allograft customized bone blocks for ridge reconstruction: a case report and radiological analysis[J]. *Appl Sci*, 2021, 11(21): 10413.
- [21] Nkenke E, Weisbach V, Winckler E, et al. Morbidity of harvesting of bone grafts from the iliac crest for preprosthetic augmentation procedures: a prospective study[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2004, 33(2): 157-163.
- [22] Summers BN, Eisenstein SM. Donor site pain from the ilium. A complication of lumbar spine fusion[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1989, 71(4): 677-680.
- [23] Chiapasco M, Zaniboni M. Clinical outcomes of GBR procedures to correct peri-implant dehiscences and fenestrations: a systematic review[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2009, 20(Suppl 4): 113-123.
- [24] Lima RG, Lima TG, Francischone CE, et al. Bone volume dynamics and implant placement torque in horizontal bone defects reconstructed with autologous or xenogeneic block bone: a randomized, controlled, split-mouth, prospective clinical trial[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2018, 33(4): 888-894.
- [25] Li J, Xuan F, Choi BH, et al. Minimally invasive ridge augmentation using xenogenous bone blocks in an atrophied posterior mandible: a clinical and histological study[J]. *Implant Dent*, 2013, 22(2): 112-116.
- [26] Romanos GE. Severe atrophy of the posterior mandible and inferior alveolar nerve transposition[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2021, 41(5): e199-e204.
- [27] Virolainen P, Heikkilä J, Hirn M, et al. 30 years of bone banking at Turku bone bank[J]. *Cell Tissue Bank*, 2003, 4(1): 43-48.
- [28] Aho AJ, Eskola J, Ekfors T, et al. Immune responses and clinical outcome of massive human osteoarticular allografts[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1998(346): 196-206.
- [29] Pfaffeneder-Mantai F, Meller O, Schneider B, et al.

- Specially designed and CAD/CAM manufactured allogeneic bone blocks using for augmentation of a highly atrophic maxilla show a stable base for an all-on-six treatment concept: a case report[J]. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 2022, 44(1): 21.
- [30] Schlee M, Rothamel D. Ridge augmentation using customized allogeneic bone blocks: proof of concept and histological findings[J]. *Implant Dent*, 2013, 22(3): 212-218.
- [31] Blume O, Back M, Born T, et al. Treatment of a bilaterally severely resorbed posterior mandible due to early tooth loss by Guided Bone Regeneration using customized allogeneic bone blocks: a case report with 24 months follow-up data[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2018, 30(6): 474-479.
- [32] Blume O, Donkiewicz P, Back M, et al. Bilateral maxillary augmentation using CAD/CAM manufactured allogeneic bone blocks for restoration of congenitally missing teeth: a case report[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2019, 31(3): 171-178.
- [33] Kloss FR, Offermanns V, Donkiewicz P, et al. Customized allogeneic bone grafts for maxillary horizontal augmentation: a 5-year follow-up radiographic and histologic evaluation[J]. *Clin Case Rep*, 2020, 8(5): 886-893.
- [34] Landsberg C, Moses O. Ridge augmentation using customized allogeneic bone block: a 3-year follow-up of two case reports[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2020, 40(6): 881-889.
- [35] Blume O, Back M, Martin K, et al. A customized allogeneic bone block for alveolar reconstruction quantitated by a 3D matching technique: a case report[J]. *Clin Case Rep*, 2021, 9(9): e04771.
- [36] Ambrosio F, Azimi K, López-Torres A, et al. Custom allogeneic block graft for ridge augmentation: case series[J]. *Clin Adv Periodontics*, 2023, 13(2): 94-101.
- [37] Monje A, O'Valle F, Monje-Gil F, et al. Cellular, vascular, and histomorphometric outcomes of solvent-dehydrated vs freeze-dried allogeneic graft for maxillary sinus augmentation: a randomized case series [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2017, 32(1): 121-127.
- [38] Browning ES, Mealey BL, Mellonig JT. Evaluation of a mineralized cancellous bone allograft for the treatment of periodontal osseous defects: 6-month surgical reentry[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2009, 29(1): 41-47.
- [39] Simion M, Jovanovic SA, Tinti C, et al. Long-term evaluation of osseointegrated implants inserted at the time or after vertical ridge augmentation. A retrospective study on 123 implants with 1-5 year follow-up[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2001, 12(1): 35-45.
- [40] Christensen DK, Karoussis IK, Joss A, et al. Simultaneous or staged installation with guided bone augmentation of transmucosal titanium implants. A 3-year prospective cohort study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2003, 14(6): 680-686.
- [41] Schlee M, Dehner JF, Baukloh K, et al. Esthetic outcome of implant-based reconstructions in augmented bone: comparison of autologous and allogeneic bone block grafting with the pink esthetic score (PES)[J]. *Head Face Med*, 2014, 10: 21.
- [42] Kloss FR, Offermanns V, Kloss-Brandstätter A. Comparison of allogeneic and autogenous bone grafts for augmentation of alveolar ridge defects—a 12-month retrospective radiographic evaluation[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2018, 29(11): 1163-1175.
- [43] Kim SJ, Shin HS, Shin SW. Effect of bone block graft with rhBMP-2 on vertical bone augmentation [J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2010, 39(9): 883-888.
- [44] Troeltzsch M, Troeltzsch M, Kauffmann P, et al. Clinical efficacy of grafting materials in alveolar ridge augmentation: a systematic review[J]. *J Cranio Maxillofac Surg*, 2016, 44(10): 1618-1629.
- [45] Laino L, Iezzi G, Piattelli A, et al. Vertical ridge augmentation of the atrophic posterior mandible with sandwich technique: bone block from the chin area versus corticocancellous bone block allograft: clinical and histological prospective randomized controlled study[J]. *Biomed Res Int*, 2014, 2014: 982104.